

Vysoká školy Báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Energetické využití odpadní biomasy v dřevozpracujícím průmyslu

Energy utilization of biomass waste in the wood processing industry

Student:

René Balcárek

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Mojmír Vrtek Ph.D.

Zadání bakalářské práce

Student: **René Balcárek**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **3904R016 Technika tvorby a ochrany životního prostředí**
Téma: **Energetické využití odpadní biomasy v dřevozpracujícím průmyslu**
Energy Utilization of Biomass Waste in the Wood Processing Industry
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši použitelných technologií pro zplyňování odpadní biomasy
2. Vypracujte popis zplyňovacího procesu a možnosti čištění plynu
3. Vypracujte procesní schéma KVET zplyňováním dřevní štěpky
4. Stanovte základní materiálovou bilanci
5. Proveďte analýzu možnosti uplatnění technologie na pile

Seznam doporučené odborné literatury:


KALTSCHMITT M., RÖSCH Ch., DINKELBACH L. Biomass Gasification in Europe. 1998, ISBN 92-828-4157-X.
KNOEF H.A.M. Handbook Biomass Gasification, BTG biomass technology group BV, The Netherlands, 2005, ISBN 90-810068-1-9.
KRBEK J., POLESNÝ B. Kogenerační jednotky malého výkonu v komunálních a průmyslových tepelných zdrojích. Skripta VUT Brno, 1997.
Normy, firemní podklady, www stránky.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Mojmir Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 18.05.2015


prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

OSTRAVA 2014

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.



V Ostravě 22.5.2015

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.



V Ostravě : 22.5.2015

Podpis

Jméno a příjmení autora práce: René Balcárek

Adresa trvalého pobytu autora práce: Petrovice u Karviné, Prstná č.p.114

Poděkování

Rád bych poděkoval doc. Ing. Mojmírovi Vrtkovi Ph.D. za vedení a odborné rady při zpracování této bakalařské práce.

René Balcárek

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BALCÁREK, R. *Energetické využití biomasy v dřevozpracujícím průmyslu: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2014, 32 s. Vedoucí práce: Najser, J.

Tato bakalářská práce se zabývá využitím dřevního odpadu na pile pro výrobu elektrické a tepelné energie a to plynem, který vzniká při procesu zplyňování. Představuje metody zplyňovacího procesu, čištění a chlazení vyrobeného plynu. V praktické části jsem se zaměřil na výběr nejvhodnějšího zařízení pro pilu v Petrovicích u Karviné, Dolní Marklovice a vypracoval schéma kombinované výroby elektrické a tepelné energie. Pro zařízení jsem spočetl jednoduché materiálové a ekonomické bilance.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

BALCÁREK, R. *Energy utilization of biomass waste in the wood processing industry: bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical engineering, Department of Energetics, 2014, 32 p. Thesis head: Najser, J.

This bachelor thesis deals with the use of wood waste in a sawmill to produce electricity and thermal energy and gas, which is generated by the gasification process. Represents the method gasification process, cleaning and cooling of the gas produced. In the practical part I focused on choosing the best equipment for the sawmill in Petrovice u Karviné, Lower Marklovice and developed a scheme of combined production of electricity and thermal energy. For equipment, I calculated the simple material and economic balance.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zplyňování, plyn, pila

KEYWORDS

Gasifying, gas, sawmill

Osnova

Seznam zkratek.....	9
Seznam veličin.....	9
1.Úvod.....	10
2.Zplyňování.....	13
2.1.Sušení	14
2.2.Pyrolýza.....	14
2.3.Oxidace.....	14
2.4.Redukce	15
2.5.Autotermní zplyňování.....	16
2.6.Alotermní zplyňování.....	16
3.Zplyňovací generátory	17
3.1.Generátory s pevným lože	17
3.1.1.Protiproudé	18
3.1.2.Souproudé.....	18
3.2.Fluidní generátory	19
3.3.Hořákové generátory	21
4.Dřevoplyn	23
4.1.Historie	23
4.2.Použití.....	23
4.3.Vyhřevnost a chemické složení	24
5.Čištění plynu	25
5.1.Nečistoty ve vyrobeném plynu	25
5.1.1.Pevné částice	25
5.1.2.Dehet.....	25
5.1.3.Alkalické sloučeniny	28
5.1.4.Sloučeniny obsahující dusík	28
5.2.Primární opatření	28
5.3.Sekundární opatření.....	29
6.Praktická část.....	30

6.1.Zplyňovací zařízení	30
6.1.1.Power Pallet	30
6.1.2.E blok 70.....	32
6.1.3.Porovnání.....	34
6.2.Materiálové bilance pro zařízení KVET.....	35
6.3.Uplatnění technologie pro pilu	39
7.Záver	40

Seznam zkratek

AVR	Automatic voltage regulation
FICFB	Fast internal circulating fluidized bed
GEK	Gasifier experimentes kits
GM	General Motors
PCU	Proces control unit
PP	Power Pallet

Seznam veličin

[CO]	objemová koncentrace CO	[% _{obj.}]
[CO ₂]	objemová koncentrace CO ₂	[% _{obj.}]
[dehty]	hmotnostní koncentrace dehtů	[g/m _{n3}]
[H ₂]	objemová koncentrace H ₂	[% _{obj.}]
[CH ₄]	objemová koncentrace CH ₄	[% _{obj.}]
[N ₂]	objemová koncentrace N ₂	[% _{obj.}]
A	obsah popeloviny	[%]
C ^r	podíl uhlíku v palivu	[%]
H ^r	podíl vodíku v palivu	[%]
M _{pp}	spotřeba paliva	[kg/hod]
N _{2,pal}	obsah dusíku v palivu	[m _N ³ /kg]
N _{2,plyn}	množství dusíku v plynu	[m _N ³ /kg]
N ^r	podíl dusíku v palivu	[%]
O ^r	podíl kyslíku v palivu	[%]
P _B	příkon kogenerační jednotky	[kW][MJ/h]
P _e	elektrický výkon	[MW]
P _p	příkon v palivu	[MW]
P _t	tepelný výkon	[MW]
Q _i	výhřevnost paliva	[MJ/m _N ³]
Q _{i,plyn}	výhřevnost vyrobeného plynu	[MJ/m _N ³]
S ^r	podíl síry v palivu	[%]
V _{pl}	potřebné množství vyrobeného plynu	[m _N ³ /hod]
V _{plyn}	množství plynu vyrobeného z 1 kg paliva	[m _N ³ /kg]

V_{COplyn}	množství CO vyrobeného z 1 kg paliva	$[\text{m}_\text{N}^3/\text{kg}]$
V_{CO2plyn}	množství CO_2 vyrobeného z 1 kg paliva	$[\text{m}_\text{N}^3/\text{kg}]$
V_{vz}	množství zplyňovacího vzduchu na 1 kg paliva	$[\text{m}_\text{N}^3/\text{kg}]$
V'_{vz}	množství zplyňovacího vzduchu	$[\text{m}_\text{N}^3/\text{hod}]$
w	vlhkost v palivu	$[\%]$
$w_{\text{N2,plyn}}$	koncentrace dusíku v plynu	$[-]$
$w_{\text{CO,plyn}}$	koncentrace CO v plynu	$[-]$
$w_{\text{CO2,plyn}}$	koncentrace CO_2 v plynu	$[-]$
η	účinnost přemyny tuhého paliva na plyn	$[\%]$
η_e	účinnost výroby elektrické energie	$[\%]$
η_{cel}	celková účinnost	$[\%]$
η_t	účinnost výroby tepelné energie	$[\%]$

1. Úvod

Na světě jsou jako primární zdroj energie používané fosilní paliva (asi 80%). Nicméně, biomasou je kryto 10 – 15 % poptávky energie, je to zdaleka nejdůležitější zdroj obnovitelné energie do teď. V průmyslově vyspělých zemích je v průměru biomasa využívána z 9–13 %, ale v rozvojových zemích je tento podíl více než třetinový. V celé řadě zemí je biomasa využívána z 50-90%. Toto využívání biomasy je však nekomerční a slouží k vaření a vytápění. To také vysvětluje, proč není podíl biomasy pro výrobu energie přesně znám (nekomerční využití biomasy se špatně mapuje). Navíc některé tradiční použití biomasy není udržitelné do budoucna, protože může připravit pudu o živiny, způsobit znečištění vzduchu, které vede ke špatnému zdravotnímu stavu. Toto všechno může přispívat k zvýšení emisí skleníkových plynů, což má za následek vliv na ekosystém. Proto musíme biomasu opětovně vysázet a řídit její další výsadbu.

Spotřeba energie ve světě stále stoupá i přesto, že zavádíme různá úsporná opatření. Dalším z faktorů, díky kterým poptávka po energiích narůstá je zvětšující se počet obyvatel. I z tohoto důvodu se snažíme využívat nové, či upuštěné technologie pro výrobu energie z alternativních paliv, energie z odpadů a také z obnovitelných zdrojů. Jednou z nich je zplyňování dřeva, díky němuž se výkupu elektřiny nebo zelený bonus, který stanovuje zákon 180/2005 Sb. o podpoře výrobě elektrické energie z obnovitelných zdrojů, stává lukrativní z hlediska provozování těchto zařízení.

Obnovitelné zdroje a jejich podpora je jednou z hlavních priorit evropské unie, tudíž i Česká republika má s touto problematikou co dočinění a musí jí řešit. V budoucnu by to mohlo znamenat menší závislost EU na dovozu energetických surovin. Už v roce 2003 ČR zavázala schválením energetické koncepce do roku 2030, že asi 15% energetické poptávky bude vyrobené ze zemědělských, lesnických nebo odpadních produktů.

Jelikož je celosvětovým trendem snižování emisí skleníkového plynu, neboli snížení obsahu CO₂ v ovzduší a toto téma se stává čím dál častějším bodem na programu světových organizací, které hledají vhodnou alternativu, jak v budoucnu nahradit dnešní základní zdroje energie. Biomasa se zdá jako vhodný kandidát, neboť je to výborný zdroj energie nejenom díky své dostupnosti, ale také obnovitelnosti. Biomasa nemusí sloužit pouze pro výrobu elektrické a tepelné energie, ale má i další využití např. v automobilovém průmyslu (pohonné látky) nebo v chemickém průmyslu k výrobě chemikálií.

Technologie výroby elektrické a tepelné energie zplyňováním dřeva je v dnešní době důležitým aspektem pro potencionální provozovatele i z ekonomických důvodů, kdy cena ropy a zemního plynu ve světě neustále narůstá. To se přímo prolíná s podporou investic OZE, což může mít za důsledek při rozhodování potencionálních zákazníků při pořizování zplyňovacího zařízení. Proto se hledají co nejvhodnější, co nejméně investičně a provozně nákladné komerční technologie. Nicméně i po řadě výzkumů se zatím nedaří snížit ceny těchto zařízení a touto problematikou se zabývá řada firem.

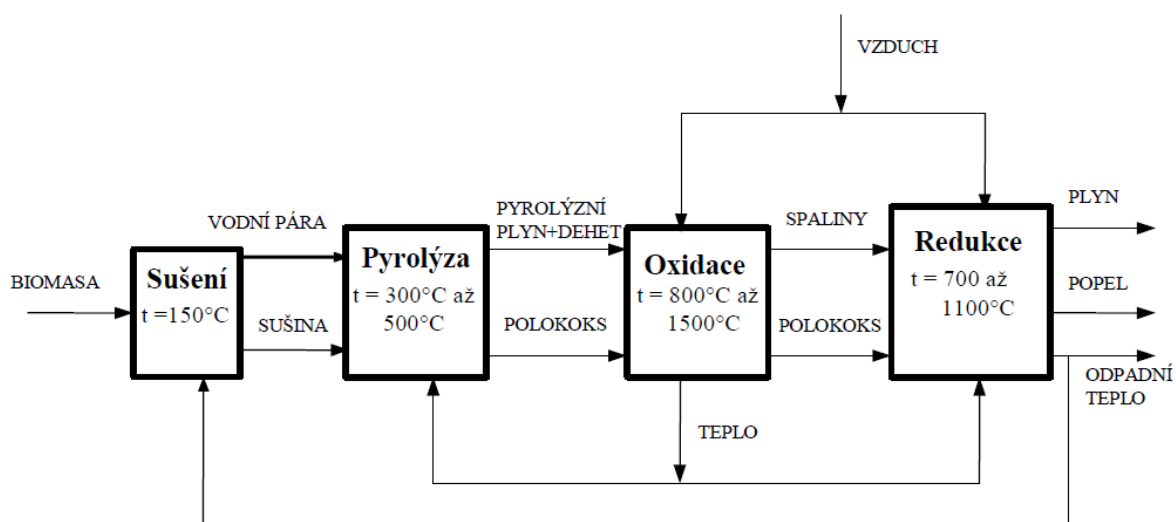
Proto jsem se zaměřil v této práci na co možná nejméně nákladné zařízení vhodné pro pilu v Petrovicích u Karviné Dolní Marklovice, kdy jsem vybral zařízení firmy Boss engineering a jako druhé zařízení Powel Pallet od americké firmy. Obě zařízení jsem porovnal, vybral to nejvhodnější pro pilu a vypočítal základní materiálové bilance a vypracoval provozní schéma KVET.

2. Zplyňování

Zplyňování biomasy je endotermická reakce, při které pevné nebo kapalné palivo přeměníme na hořlavý plyn, za omezené dodávky oxidačního činidla (kyslíku, vzduchu, páry nebo jejich kombinaci). Vyrobený plyn se skládá z výhřevných složek (H_2 , CO , CH_4), doprovodných složek (CO_2 , H_2O , N_2) a znečišťujících složek (dehet, alkálie, drobný prach, síru, atd.)

Tento komplexní proces je doprovázen řadou reakcí, zejména jsou to čtyři procesy a to: Sušení, pyrolýza, redukce a oxidace. Tyto procesy mohou probíhat buď postupně v sesuvných generátorech (Obr 2.1) a nebo naráz ve fluidních či hořákových generátorech (Obr 2.2).

- Sušení
- Pyrolýza
- Oxidace
- Redukce



Obr. 2.1. – Procesy při zplyňování

2.1. Sušení

Je to první proces, který nastává při vložení biomasy do generátoru. Sušení probíhá při teplotách 200°C. Jelikož tento proces je endotermní a spotřebovává velké množství tepla, dodává se z oxidační zóny, buď to prouděním, nebo vedením.

Palivo pro zplyňování nesmí mít velký obsah vody, nejvýše 30%, ale optimální je 15% obsah vody. Když má palivo větší obsah vody, tím se celková účinnost přeměny dřeva na produkováný plyn zmenšuje. Výsledkem sušení je pára, která dále reaguje v redukční zóně (soproudé generátory), nebo přehází do plynu (protisoproudé generátory). [3]

2.2. Pyrolýza

Pyrolýza nebo-li odplynění je komplexní proces, který zahrnuje řadu reakcí. Za nepřístupu zplyňovacího média (kyslík, oxid uhličitý, vodní pára) při teplotách od 300°C do 700°C se rozkládá palivo (organický materiál), nebo-li výše molekulární organické látky se rozloží na níže molekulární a molekuly s dlouhými řetězci se štěpí na molekuly s krátkými řetězci.

Při teplotách od 300°C do 500°C nastává suchá destilace a organické látky se začínají měnit na plynné a kapalné produkty a polokoks. Dále, nad teplotou 500°C, se kapalné látky a pevný uhlík mění na plynné látky (H_2 , CO , CO_2 , CH_4).

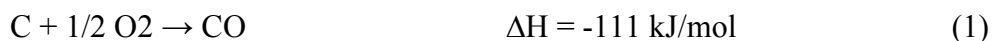
Produkty pyrolýzy se velmi liší, záleží na typu biomasy. Tyto produkty se rozdělují podle skupenství na pevné, kapalné a plynné. [1]

2.3. Oxidace

Je to exotermní reakce, která dodává teplo pro endotermní reakce zplyňování. Nastává v zóně přívodu zplyňovacího média. Jestliže použijeme jako zplyňovací médium kyslík nebo vzduch, v místě vstupu média do generátoru se vytvoří oxidační vrstva, za předpokladu stechiometrického koeficientu 0,3 až 0,5.

Oxidace plynných produktů pyrolýzy a pevného uhlíku probíhá podle těchto rovnic:

částečná oxidace pevného uhlíku:



úplná oxidace pevného uhlíku:



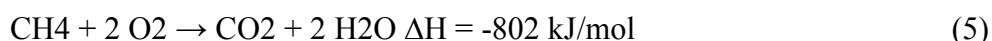
oxidace oxidu uhelnatého CO:



oxidace vodíku H₂:



oxidace metanu CH₄:



Tvorba CO v reakci (1) je žádanou, neboť se vytváří aktivní složka spalitelného plynu. O dodání tepla celému procesu zplyňování se stará reakce (2). Další reakce (3), (4) a (5) nejsou žádoucí, protože CO₂ a H₂O nejsou spalitelné složky plynu a nezvětšují jeho výhřevnost. [3]

2.4. Redukce

V redukční zóně vzniká plyn podle těchto rovnic:

Heterogenní zplyňovací reakce:

Boudardova reakce:



heterogenní reakce vzniku vodního plynu:

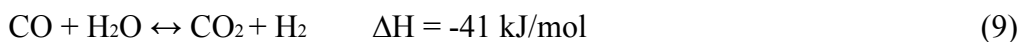


heterogenní vznik metanu:

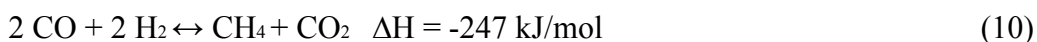


Homogenní zplyňovací reakce:

homogenní reakce vodního plynu:



homogenní vznik metanu:



homogenní redukce oxidu uhličitého



V této zóně vzniká převážná většina spalitelných látek a to redukcí CO₂ na CO (6) a H₂O na H₂ (7), tudíž jsou tyto dvě reakce velmi důležité pro vznik spalitelného plynu.

Probíhají velmi pomalu při teplotách 700-800°C. Současně s nimi probíhá velmi pomalu i reakce (8), kdy vzniká další žádoucí prvek plynu CH_4 . Přesné složení produkovaného plynu je založeno na rovnováze přeměny na vodní plyn dle rovnice (9).

Při prvních třech procesech (sušení, pyrolýza, redukce) je teplo spotřebováváno, tudíž ho musíme dodat. Potřebné teplo můžeme dodat buď přímo, ze spalování biomasy v reaktoru (autotermní spalování), nebo teplo dodáme nepřímo z okolního prostředí (alotermní spalování).

2.5. Autotermní zplyňování

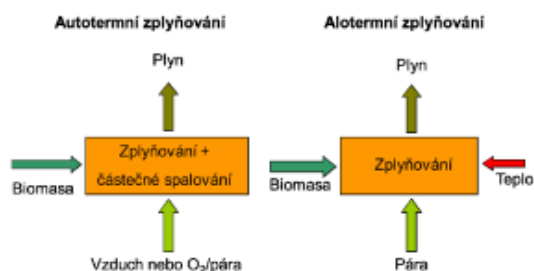
Autotermní zplyňování potřebuje, aby do generátoru byl přiváděn kyslík. První možností je přivádění vzdušného kyslíku, ale u výsledného plynu nedocílíme vysokých výhřevností (asi 4,6 MJ/m³), z důvodů velkého obsahu dusíku. Druhou z možností je přívod paro-kyslíkové směsi, kde je výhřevnost podstatně vyšší (okolo 14 MJ/m³). Nicméně nevýhodou bývají vysoké investiční náklady a pro docílení vysokých teplot, bývá v generátoru spáleno až 25% paliva. [5]

2.6. Alotermní zplyňování

Alotermní zplyňování produkuje plyn s výhřevností okolo 14 MJ/m³ a také má širší využití. Potřebným médiem pro zplyňování bývá vodní pára. Nevýhodou procesu je potřeba zajištění telené energie nepřímou cestou. Je třeba vyrobit složitější zařízení, což znamená i vyšší investiční náklady. [5]

Teplo pro alotermní spalování můžeme zajistit:

- Přestupem tepla přes teplosměnnou plochu.
- Pomocí tepal obsaženého v inertním materiálu.
- Předehřátím zplyňovacího media.



Obr. 2.2 - Rozdíl mezi autotermním a alotermním zplyňováním

3. Zplyňovací generátory

Rozdělení zplyňovacích generátorů:

Podle technologického principu:

- Generátory s pevným sesuvným ložem – souproude, protiproude, s křížovým tokem
- Generátory s fluidním ložem
- Generátory s unášivým ložem

Podle tlakového poměru

- Atmosferické
- Tlakové proudění

Podle zplyňovacího media

- Vzduch
- Kyslík
- Pára (paro-kyslíková směs)

Rozdíly mezi jednotlivými typy generátorů je uveden v tabulce, kde je popsán výkon každého z nich, dále je uvedena teplota, obsah dehtu a prachu v plynu vystupujícího z generátoru a v neposlední řadě požadavek na kvalitu použitého paliva (Tab. 2.1).

3.1. Generátory s pevným ložem

Generátory s pevným ložem, též sesuvné (Obr.3.1), jsou nejjednodušším typem generátorů, pracují při atmosférickém tlaku, jsou méně investičně náročné. Nevýhodou je potřeba homogenizace velikosti biomasy (dřevní štěpky), která může obsahovat nejvýše 20% vlhkosti. Dosahované teploty při zplyňování bývají menší, tudíž vyrobený plyn obsahuje

dehet, fenol a jiné nežádoucí prvky, proto ho musíme čistit. Jako zplyňovací medium je používán nejčastěji vzduch, podle toho jak je přiváděn se generátory rozdělují na souprouté protiproudé nebo křížové. [7]

3.1.1 Protiproudé

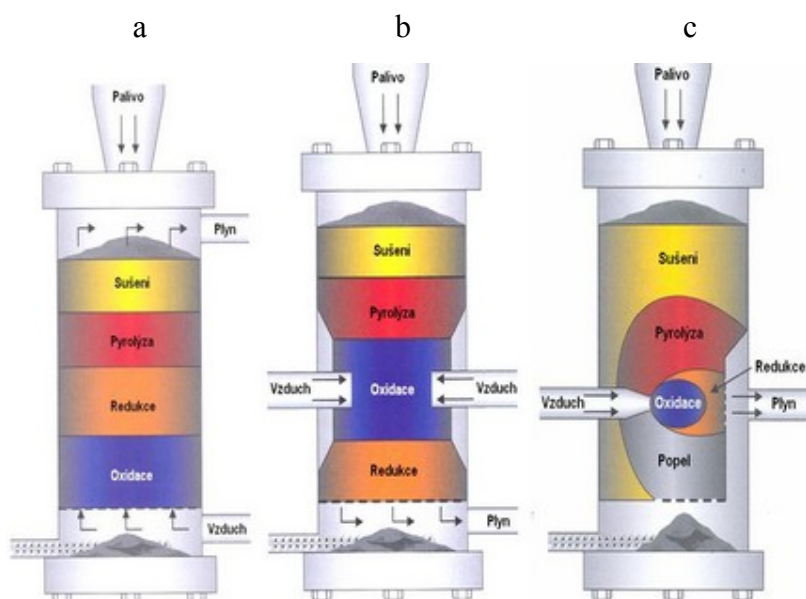
U těchto typů generátoru se palivo přivádí shora a pohybuje se směrem dolů.

(Obr 3.1a)

Zplyňovací medium je přiváděno ve spodní části, tudíž plyn proudí proti palivu a vychází v horní části značně ochlazen (má asi 250°C). Výhodou těchto generátorů je velká flexibilita v použitém palivu a snese i větší obsah vlhkosti paliva (do 30%). Značnou nevýhodou je vyšší obsah dehtových látek a pyrolýzích produktů ve vzniklém plynu, která má výhřevnost až 6 MJ/m_n

3.1.2 Souprouté

Souproutý „Imbertův“ generátor (obr. 3.1.b) je válcovitého tvaru a je charakteristický především zúžením v místě přívodu zplyňovacího média, kterým bývá obvykle vzduch. Palivem bývá nejčastěji dřevo, eventuálně odpad z jeho zpracování. V případě tohoto typu generátoru palivo a zplyňovací médium proudí stejným směrem. Palivo je dávkováno shora a během procesu prochází několika zónami. V první zóně dochází k jeho vysušení a uvolňuje se především vlhkost. Vysušený materiál následně přichází do pyrolyzní zóny, kde dochází za vyšších teplot k odplynění paliva za vzniku pevného uhlíkatého zbytku a plynných produktů pyrolýzy. Tyto produkty následně přicházejí do oxidační zóny, kde je obvykle několika tryskami přiváděno zplyňovací médium (v případě tohoto typu generátoru převážně vzduch) a v této zóně dochází ke spálení především plynných pyrolýzních produktů a části pevného uhlíkatého zbytku. Teplo uvolněné při těchto procesech energeticky zabezpečuje veškeré další endotermní reakce, k nimž během procesu zplyňování dochází. V následující redukční oblasti dochází k reakci plynných produktů oxidačních reakcí (převážně CO₂ a H₂O) a nezreagovaných produktů pyrolýzy s pevným uhlíkatým zbytkem a anorganickými složkami obsaženými ve vstupní biomase. Za vysokých teplot (>900 °C) dochází k redukčním pochodům, při kterých vzniká primárně CO a H₂. Vysoké teploty v této zóně rovněž umožňují efektivnější rozklad pyrolýzních produktů, a proto se tento typ generátoru vyznačuje nízkým obsahem dehtu ve výstupním plynu. [5]



Obr. 3.1- zplyňovací generátory a) protiproudý, b) souproudý, c) s křížovým tokem

3.2. Fluidní generátory

Tyto typy generátorů jsou navrženy pro větší výkony, zplyňuje se za větších teplot a jedná se o alotermní zplyňování, které je popsáno výše. Jako oxidační činidlo se do zrnitého materiálu vpravuje kyslík nebo pára, takovou rychlostí, že je vrstva nadnášena a chová se jako kapalina. Jako materiál fluidní vrstvy se užívá inertní materiál, nejčastěji pískovec nebo vápenec či olivín. [2]

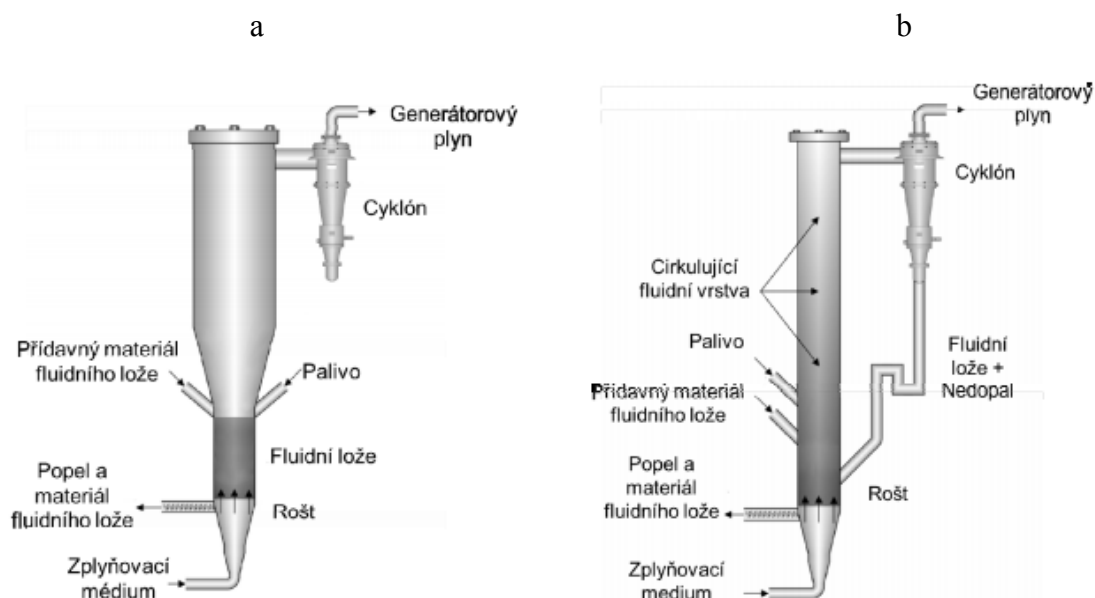
Fluidní vrstva je izotermní, rovnoměrná a skvěle vede teplo, díky nepřetržitému míchání materiálu. U těchto generátorů, na rozdíl od sesuvných, probíhají zplyňovací procesy současně a za vyšších teplot, což vede ke snížení tvorby dehtu.

Na materiál fluidního lože jsou kladeny následující požadavky:

- Musí být dobře fluidovatelný.
- Měl by být odolný proti otěru.
- Měl by být odolný proti sintraci.
- Měl by katalyticky ovlivňovat složení a výtěžek generátorového plynu směrem k žádoucím složkám.

Pracovní teplota se pohybuje v rozmezí 800– 900 °C. Hlavní katalytický účinek spočívá v částečné přeměně dehtů na permanentní plyny reformingovými a krakovacími reakcemi, zvýšení výtěžku plynu a zvýšení koncentrace vodíku v plynu.

Výhodou reaktorů s fluidním ložem je rychlé promíchávání, rovnoměrná distribuce tepla, vhodná doba zdržení a hlavně schopnost zpracovávat různé druhy paliva. Fluidní generátory můžeme dělit na alosterické nebo na ty, které pracují s většími tlaky (1.5 – 2.5 MPa). Dále je můžeme dělit podle rychlosti oddělní plynu podle konstrukce na generátory se stacionární fluidní vrstvou (rychlost proudění 0,5 – 3 m/s) a na generátory s cirkulující fluidní vrstvou (3 – 10m/s)



Obr 3.2.- a) Generátor se stacionární fluidní vrstvou , b) Generátor s cirkulující fluidní vrstvou

Dalším typem jsou generátory s duálním ložem, které mohou separovat zplyňování a spalovací reakci, která dodává teplo pro zplyňování a proces probíhá alotermně. Vzniklé teplo se přivádí přestupem přes teplosměnné plochy a také cirkulací fluidního materiálu mezi zplyňovacím a spalovacím prostorem generátoru. Nejznámějším duálním generátorem je generátor s rychlou vnitřní cirkulací fluidního lože FICFB (Fast internal circulating fluidized bed, Obr. 3.2).

Plyn vyrobený v generátoru FICFB má velmi nízký obsah dusíku. Když biomasa vstoupí do generátoru, kde se vysuší, odplyní a přemění se na CO, CO₂, CH₄, H₂, dehet a vodní páru. Oba prostory generátoru (zplyňovací a spalovací) jsou propojeny svodkou, kde se materiál fluidní vrstvy a zbytky uhlíku přenesou do spalovací části, tak je zbytkový uhlík spálen. V cyklónu se materiál fluidní vrstvy oddělí od spalin a je dodán zpátky do zplyňovací části. Spálením zbytků uhlíku, získáme teplo potřebné pro ohřátí fluidní vrstvy to můžeme dále regulovat částečnou zpětnou cirkulací vyrobeného plynu anebo přidáním dalšího paliva. Fluidním mediem je vzduch (spalovací část), nebo vodní para (zplyňovací část). Tyto generátory jsou používány v zařízeních o tepelném příkonu 8 MW a 10 MW (Gussing a Oberwart). [3]



Obr. 3.3. – Přenos tepla fluidní vrstvou v generátoru FICFB

3.3. Hořákové generátory

V těchto generátorech se zplyňuje za vysokých teplot (1300 – 1600 °C) a za vysokých tlaků (2 -7 MPa). Zplyňování probíhá v plameni za sub-stechiometrických podmínek. Jako medium nejčastěji přivádíme směs páry a kyslíku. Částice paliva, z důvodu vysokých teplot, zůstávají v generátoru velmi malou dobu asi 1 sekundu, popel je v kapalném skupenství a je odváděn ve formě strusky.

Tyto generátory mají vysokou konverzi paliva (až 99%) a díky vysokých teplot při zplyňování, má vygenerovaný plyn velkou čistotu (neobsahuje skoro žádné uhlovodíky a dehet). Ale navíc má i velikou koncentraci H₂ a CO (80%) a díky tomu je vhodný pro výrobu syntézního plynu pro chemický průmysl (výroba amoniaku metanol, aj.).

Typ generátoru	Výkon (MW)	Výstupní teplota plynu (°C)	Dehet (g/m ³)	Prach (g/m ³)	Kvalita paliva
Sesuvný souproudý	<1	500 - 850	0,1 – 2	0,1 – 1	vysoké
Sesuvný protiproudý	0,5 - 50	70 – 300	10 – 100	0,1 – 0,5	střední
Stacionární fluidní	1 - 15	700 – 900	1 – 20	20 – 100	nízké
Cirkulační fluidní	10 - 150	750 – 950	1 – 20	5 – 50	nízké
Hořákový	10 - 250	1000 – 1600	není známo	není známo	vysoké

Tab 3.1. Parametry jednotlivých zplyňovacích generátorů[6]

Typ generátoru	Velikost částic (mm)	Vlhkost (%)	Popel (%)	Teplota tavitelnosti popele (°C)
Sesuvný souproud	20 - 100	20	< 5	> 1250
Sesuvný protiproud	5 - 100	< 50	< 15	> 1000
Fluidní	1 - 100	< 40	< 20	> 1000
Hořákový	< 0.1	< 15	< 20	< 1250

Tab. 3.2. Parametry paliva pro jednotlivé zplyňovací generátory[6]

4. Dřevoplyn

Je to syntézní palivo, které můžeme používat jako palivo do pece, kamen, pro výrobu tepelné a elektrické energie v kogeneračních jednotkách nebo jako náhradu paliv pro motorová vozidla.

4.1. Historie

Už v osmnáctém století se dělali pokusy s plynem, protože se zdál jako vhodný plyn pro veřejné osvětlení a mohl nahradit tehdy používaný svítiplyn.

Od počátku dvacátého století se tento plyn hojně využíval pro pohánění vozidel a to nejen automobilu, ale i nákladních vozidel, autobusů, traktorů, motorek a vlaků. Mělo to ale značnou nevýhodu, protože motory nebyli tak výkonné jako benzínové a značně se zanášeli dehtem a trpěli na opotřebení, díky velkému množství popílku. Za druhé světové války takto byla poháněna spousta osobních vozidel (až milión dopravních prostředků), z důvodu nedostatků fosilních paliv. S tímto druhem automobilu se jezdilo hlavně v Evropě, ale i v Asii, Spojených státech amerických a velké množství vozidel jezdili v Austrálii. [1]

4.2. Použití

Plyn může být využit pro pohon zážehových motorů (po menší úpravě karburátoru), kde je benzín nahrazen plynem. Lze ho použít i u dieselových motorů, ale vždy je zapotřebí zapálit směs plynů motorovou naftou.

V dnešní době se hodně využívá v rozvojových zemích k vytápění a vaření nebo pro výrobu elektrické energie. Zde nastává problém se skladováním a dopravou plynu, proto se uvažuje o začlenění do čerpací infrastruktury. Druhou možností je Fischer-Tropschova syntéza, pro zkapalnění plynu.[2]

Při experimentech bylo zjištěno, že 365 l benzínu může nahradit 1000 kg dřeva u stejného typu vozidla. A pro výrobu 1 kWh elektrické energie je zapotřebí 1,1 kg dřeva. Dále bylo, u motorů s vnitřním spalováním na dřevoplyn, zjištěny podstatně nižší emise výfukových plynů než u benzínu (především emise HC). [3]

4.3. Výhřevnost a chemické složení plynu

Výhřevnost plynu závisí na více faktorech:

- Použitá technologie (podle typu generator)
- Jaké zplyňovací medium použijeme
- Na druhu dřeva
- Zda je process alotermní nebo autotermní

Parametr	Zplyňování vzduchem (autotermní)	Zplyňování parou (alotermní)	Zplyňování paro- kyslíkovou směsí (autotermní)
Výhřevnost (MJ/m _N ³)	4-6	12-14	12-15
H ₂ (%)	11-16	35-40	25-30
CO (%)	13-18	25-30	30-35
CO ₂ (%)	12-16	20-25	23-28
CH ₄ (%)	3-6	9-11	8-10
N ₂ (%)	45-60	<1	<1

Tab. 4.1. - Rozdílné vlastnosti plynu vyrobeného při zplyňování. [3]

5. Čištění plynu

Po vyrobení, bývá plyn znečištěn nežádoucími látkami. Nečistoty v plynu ovlivňuje použitá technologie zplyňování a složení paliva. Tyto dva aspekty musíme zvážit, podle následného využití plynu. V praxi existují dvě základní metody, jak plyn čistit, ale větší účinnosti dosáhneme jejich kombinací. Je to primární a sekundární čištění plynu.

5.1. Nečistoty ve vyrobeném plynu

Nečistoty v plynu působí negativně na jednotlivé části a prvky použité při této technologii, zanášejí trubky a armatury a negativně působí na pracovní motory. Tyto nečistoty můžeme rozdělit na:

- Pevné částice
- **Dehet**
- Alkalické sloučeniny
- Sloučeniny obsahující dusík
- Sloučeniny obsahující síru

5.1.1. Pevné částice

Jsou to vlastně tuhé částice, které sebou bere plyn, když vystupuje z generátoru. Patří mezi ně popílek, nespálený uhlík a saze. S tímto problémem se setkáváme hlavně u generátorů s fluidním lóže, jelikož vrstva cirkuluje a nastává silné turbulentní proudění.

Tyto pevné částice je nutno odstranit, poněvadž v kombinaci s dehtem můžou zanášet trubky a ucpávat filtry. K jejich odstranění se nejčastěji používá cyklón.

5.1.2. Dehet

Obecně lze říct, že dehet se vyskytuje v každém plynu vyrobeném technologií zplyňování a představuje největší problém. Řada technologií, kvůli tomuto problému neuspěla. Jestliže chceme, aby obsah dehtu byl co nejmenší, musíme používat konkrétní generátor pro konkrétní druh biomasy.

Jedná se o různorodou strukturu a chemickou povahou, definovaných jako všechny organické látky s bodem varu vyšším než má benzen ($t_v = 80,1\text{ °C}$). [4]

Dehet vzniká při dosažení teploty 200°C v pyrolýzní zóně a s rostoucí teplotou klesá i obsah dehtu v plynu. Nicméně vytváří se stabilnější a hůře odbouratelné složky.

Charakteristika dehtu podle jeho transformace: [5]

- Primární dehet – obsahuje přímé produkty pyrolýzy a nejvíce se tvoří při teplotách okolo 500 °C. Významným činitelem primárního dehtu je prchavá hořlavina, tudíž jde o nestálý dehet a při vyšších teplotách se mění v sekundární dehet.
- Sekundární dehet – převážně stabilnější fenoly a olefiny. Maximum jeho koncentrace bývá při teplotě 750 °C, kdy se začne měnit na terciální dehet
- Terciální dehet – tvoří se při teplotách přesahující 650 °C, kdy s rostoucí teplotou obsah dehtu klesá, nicméně je mnohem stabilnější a hůře se odstraňuje.

Další možné rozdělení dehtu vytvořila skupina ECN, která ho rozdělila podle začátku kondenzace a rozpustnosti ve vodě. (Tab 5.1.)

Třída	Charakteristika	Příklady složek
1	Nedekovatelné složky pomocí plynové chromatografie	fragmenty biomasy, nejtěžší dehet, gravimetricky stanovitelný dehet
2	Heterocyklické sloučeniny	pyridin, fenol, kresol, chinolin
3	Aromatické uhlovodíky	toluen, xylen, etylbenzen, iden, styren, (mimo benzen, který není považován za dehet)
4	Lehké polyaromatické uhlovodíky (2-3 kruhové PAH)	naftalen, iden, bifenyl, antracen, metyl-naftalen, etylnaftalen, acenafylen, acenaften, fluoren, fenantren
5	Těžké polyaromatické uhlovodíky (4-5 kruhové PAH)	fluoranten, pyren, cysen, benzo-anthracen; benzo-fluoranten; benzo-pyren; perylen; indeno-pyren; dibenzo-antracen; benzo-perylen
6	Sloučeniny neidentifikovatelné pomocí plynové	Neznámé

Tab 5.1. ., Systém klasifikace dehtu se zaměřením na jejich vlastnosti. [6]

Třída 1 zahrnuje nejtěžší dehty, které kondenzují při vysoké teplotě ve velmi nízkých koncentracích.

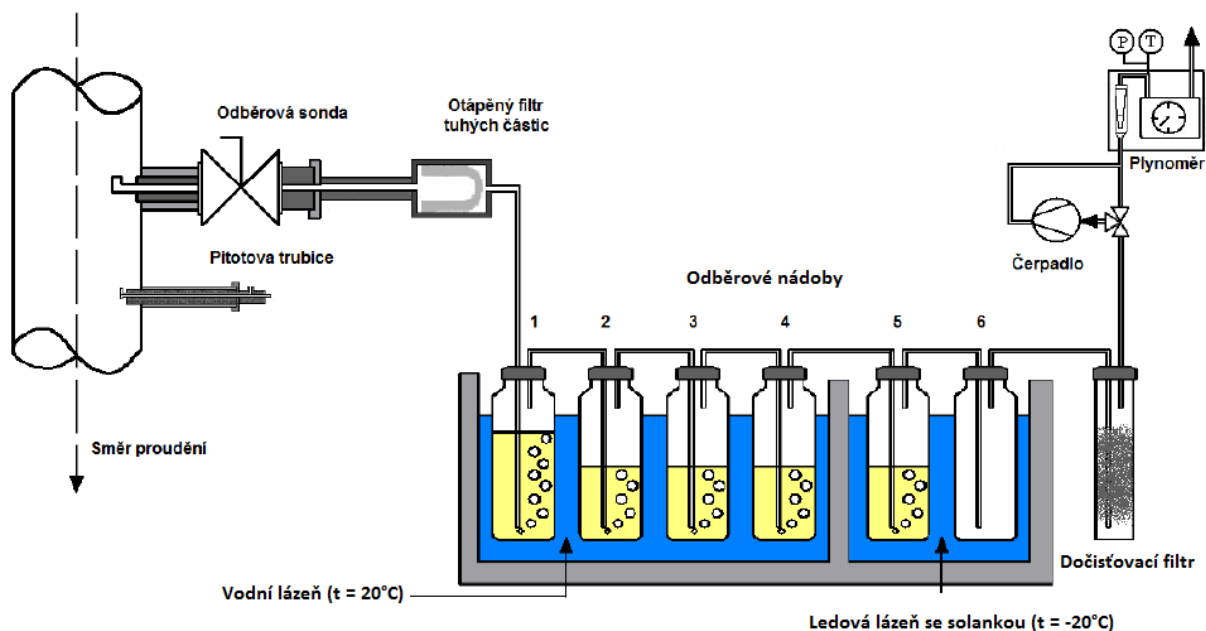
Třída 2 se vyznačuje vysokou rozpustností ve vodě.

Třída 3 jsou lehké uhlovodíky, které jsou důležité z hlediska spojení dehtu. Jsou v plynném stavu a velice těkavé.

Třída 4 kondenzuje při středních teplotách při poměrně vysokých koncentracích.

Třída 5 se vyznačuje nejvyšší kondenzační teplotou při nízkých koncentracích.[6]

Jedním z důležitých kritérií při procesu zplyňování je stanovení obsahu dehtu ve vyrobeném plynu. Provádí se to nejenom pro kontrolu kvality plynu, ale zejména pro zjištění účinnosti čistících procesů. Většina metod je založena na odběru známého množství plynu a zachycení dehtu prostřednictvím vhodného absorpčního nebo adsorpčního materiálu do kapalně nebo pevně fáze. Pro sjednocení stanovení obsahu dehtu v plynu, byla vypracována jednotná metodika, která přímo určuje způsob odběru vzorků dehtu a měření obsahu pevných látek, včetně jejich analýzy. (obr 5.1.) [7]



Obr 5.1. Měřicí trať pro odběr dehtu [8]

5.1.3. Alkalické sloučeniny

Tyto sloučeniny není zapotřebí vždy odstraňovat, jejich odstranění závisí na dalším využití plynu. Pro využití plynu v kotlích je přítomnost alkálií přípustná. Ale pro aplikaci plynu v plynových turbínách nebo ve spalovacích motorech, je přítomnost těchto sloučenin nechtěná, neboť se usazují a alkalické soli mohou způsobovat korozi součástí.

Problém s usazováním alkalických solí bývá nejčastěji řešen ochlazením plynu a odstraněním jemných částic, poněvadž na nich soli kondenzují.[9]

5.1.4. Sloučeniny obsahující dusík

Většina dusíku v plynu je ve formě N_2 , které určuje hlavně druh zplyňovacího media. Dále se dusík vyskytuje ve formě sloučenin. Hlavní sloučeninou obsahující dusík je amoniak (NH_3) a kyanovodík (HCN). Amoniak vzniká konvezí dusíku, který je obsažen v palivu a tudíž se množství vzniklých sloučenin mění podle charakteristik použitého paliva v generátoru. Při spalování v hořácích nebo u použití ve spalovacích motorech, je obsah dusíkatých látek v plynu nežádoucí, z důvodů vzniku oxidu dusíku (NO_x). [9]

5.1.5. Sloučeniny síry

Biopaliva obsahují malé procento síry, ta se při zplyňování převážně mění na sulfan (H_2S) nebo na oxidy síry (SO_x). Sloučeniny síry ve většině případu není zapotřebí odstraňovat, pouze při použití katalyzátorů, které jsou na přítomnost síry v plynu citlivé. Síra má také korozivní účinky a může se vlivem kondenzace usazovat na určitých místech potrubního systému.[9]

K jejímu odstranění se v praxi nejlépe osvědčily mokré vypírky nebo její reagování s vhodným sorbetem.

5.2. Primární opatření

To probíhá už při samotném procesu zplyňování a dochází k němu přímo v generátoru. Mezi primární opatření patří např. zvolení vhodného generátoru, volba media použitého při zplyňování, zvolení teploty a tlaku při zplyňování. Fluidní generátory mohou také ovlivnit kvalitu plynu pomocí katalyzátoru.

5.3. Sekundární opatření

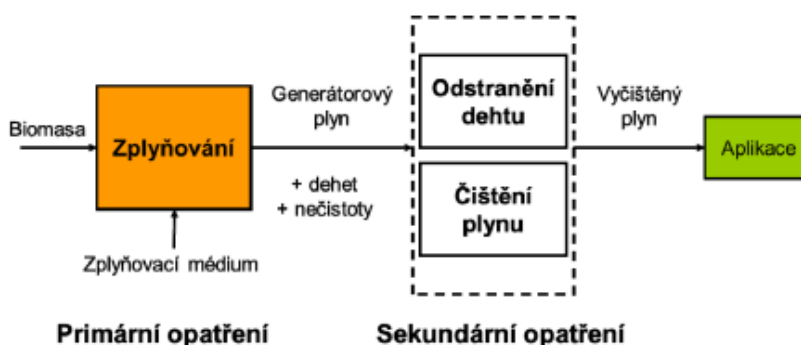
Probíhá mimo generátor a spočívá v použití dalších technologií navazujících po samotném procesu zplyňování. K tomuto čištění se používají filtry, cyklóny, mokré vypírky a jiné. Sekundární čištění můžeme dále ještě rozdělit na nízkoteplotní a vysokoteplotní.

Nízkoteplotní čištění plynu se provádí kapalinou (vodou nebo olejem), kdy je plyn ochlazován na bod varu kapaliny. Nevýhodou této technologie je chlazení plynu a následné zahřátí na vyšší teplotu, při čemž dochází ke ztrátám energie plynu. Z tohoto důvodu se používá i druhá, vysokoteplotní metoda, u které se plyn nemusí ochlazovat, ale nečistoty se odstraňují pomocí sorpčních a katalytických metod.

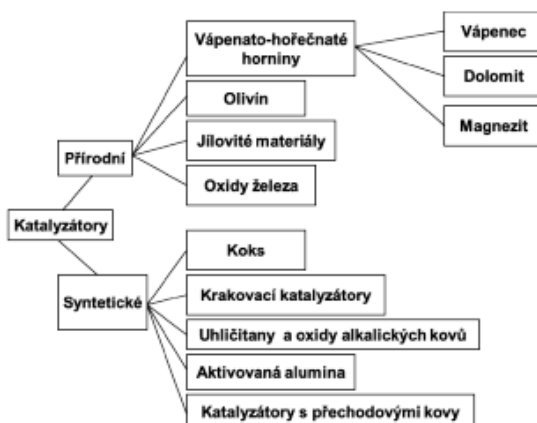
Katalyzátory na vysokoteplotní čištění plynu dělíme na přírodní a syntetické (obr. 4.2).

Výhoda přírodních katalyzátorů je přímé použití a jsou mnohem levnější než syntetické.

Přesto pro určité aplikace je třeba využít syntetické katalyzátory, které se vyznačují velkou účinností a dobrým oddělením plynu od nečistot. Bohužel jejich cena je vysoká a jsou velice náchylné na jedy v plynu.



Obr. 5.2. Proces čištění plynu po zplyňování[1]



Obr 5.3. Přehled katalytických metod na odstranění nečistot z plynu po zplyňování[2]

6. Praktická část

Na pile obecně vzniká velké množství dřevního odpadu, ze kterého nebývá využit všechen potenciál. Tento dřevní odpad na pile se vyskytuje ve formě pilin (obr. 6.1) nebo jako odřezky z výroby desek (obr. 6.2). Aby provozovatelé pily co nejvíce zúročili všechen materiál, i tento odpad je prodejný. Což nemusí vést k maximálnímu využití, proto se dneska přistupuje k zplyňování dřevního odpadu, ve formě dřevní štěpky. To jsem aplikoval na pile v Petrovicích u Karviné Dolní Marklovice.

6.1. Zplyňovací zařízení

Na trhu se pohybuje už celá řada firem, které se zabývají problematikou zplyňování dřevní štěpky. Snažil jsem se najít jednu tuzemskou a jednu zahraniční, které by byli co možná nejzajímavější, jak z hlediska tržních zkušeností, tak z hlediska finanční náročnosti zařízení.

První zařízení pro zplyňování je od Americké firmy All Power Labs, které je celosvětovou jedničkou ve zplyňování drobné biomasy. Druhé zařízení je

6.1.1 Power Pallet

Projekt Experimentálních zplyňovacích souprav (GEK), byl zahájen už v roce 2008 a výsledkem výzkumu je vyvinutí zařízení Power Pallet-plně automatizované řešení pro výrobu elektrické energie z biomasy.(obr.5.3) Dnes je těchto zařízení na 400 a více než 40 zemích světa a výzkum podporuje více než 50 vysokých škol.

Zařízení PP převádí dřevní biomasu na elektrickou a tepelnou energii a to vše plně automaticky za cenu 20 – 40 Kč za jeden Watt. Zařízení PP 20kW má průmyslové motory GM synchronní s Mecc Alte AVR generátorem, které jsou schopny stabilní výrobě elektřiny ve 120/208/240V v 50/60Hz a to v jakékoliv fázi.



Obr. 6.3. Zplyňovací zařízení Power Pallet[9]

Zařízení PP se vyznačuje jednoduchým používáním, optimální velikostí a přijatelnou cenou. Jedná se o zařízení, které přináší automatický provoz, což se u moderního zařízení pro výrobu elektřiny očekává. Tyto výhody jsou výsledkem elektronické kontroly a využití odpadního tepla. Technické parametry jsou popsány v následující tabulce (Tab 6.1.).

Power Pallet	20 kW
Výkon (kW)	2 – 20
Spotřeba biomasy (kg/hod)	do 22
Vlhkost paliva (%)	až 30
Velikost (m)	1.2x1.3x1.8
Váha (kg)	658

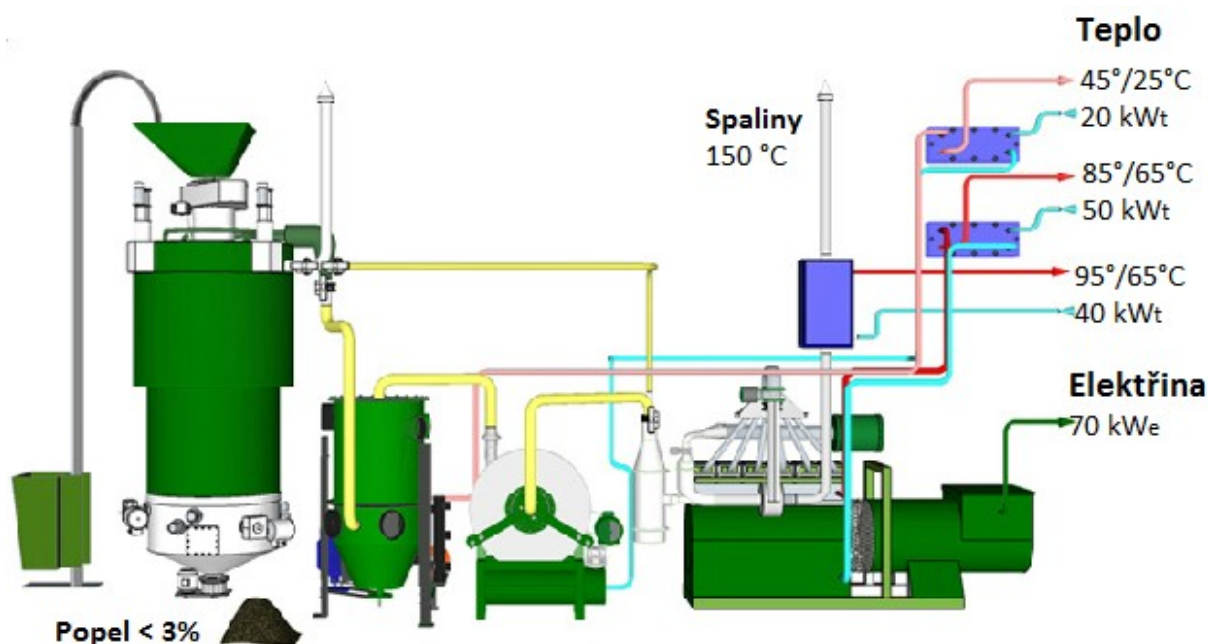
Tab 6.1. Specifikace zařízení Power Pallet[9]

6.1.2 E blok 70

Zplyňovací technologie E blok 70 (obr. 6.4) firmy Boss engineering je ucelené zařízení pro výrobu elektrické a tepelné energie, které sestává z těchto základních dílů:

- Mobilní kontejnerový zásobník paliva o obsahu 40 m³ dřevní štěpky
- Transportní dopravník paliva do zplyňovacího generátoru
- Zplyňovací generátor
- Zařízení pro čištění a chlazení plynu
- Kogenerační jednotka (70 kW_e 110 kW_t)
- Ostatní provozní a bezpečnostní zařízení

Z hlediska provozních potřeb vyžaduje tato technologie přibližně plochu 120 m². Výška generátoru a zásobníku paliva je 7 m. Celé zařízení E blok může být dodáno v kontejnerové verzi, která se osadí na volné ploše, čímž odpadá stavění haly pro tuto technologii.



Obr 6.4. Zplyňovací zařízení E blok 70 [10]

Princip činnosti

Dřevní štěpka je automaticky dávkována za zásobníku paliva (1) transportním dopravníkem do zplyňovacího generátoru (2), kde dochází ke zplynění paliva. Vyrobený plyn se zbavuje nečistot, které jsou separovány pomocí čistících (3) a chladících (4) zařízení.

Plyn je po vyčištění a ochlazení spalován kogenerační jednotkou (5), která je osazena kompletní výbavou pro distribuci vyrobené elektřiny a tepla k pohonu strojů a sušení. Zařízení pracuje po jeho najezení v automatickém režimu, pouze s občasným dozorem obsluhujícího personálu.

Spalitelný odpad ze zplyňovacího generátoru a čištění plynu je vrácen zpět ke zplyňování. Výkon zařízení lze regulovat v rozsahu 30 – 100 % výkonu.

Palivo

Optimální velikost dřevní štěpky je dána velikostí kousků dřeva tloušťky minimálně 1 cm a délky 4 – 6 cm. Vzhledem k unikátní konstrukci zplyňovacího generátoru lze zplyňovat různé frakce paliva od jemných třísek až po větší kousky dřeva, třídění dřevní štěpky není tudíž vyžadováno.

Vlhkost dřevní štěpky připravované ze surového dřeva se pohybuje v rozmezí 30 – 50 %, podle aktuálního ročního období a přirozeného prosychání na venkovním vzduchu. Na požadovanou vlhkost 20 % bude využita sušárna, kde se bude dřevní štěpka sušit spolu s deskami vyrobenými na pile.

Spotřeba paliva je dána jeho celkovou kvalitou a je především ovlivněna:

- Vlhkostí paliva
- Zrnatostí paliva
- Množstvím obsažené kůry a prachu
- Druhu a tvrdosti použitého dřeva

Kontejnerové řešení

Zplyňovací technologie včetně kogenerační jednotky je umístěna ve čtyřech standardních přepravních ocelových kontejnerech délky 6 m.

Jelikož na pile bude vyrobené teplo použito na vysoušení desek i dřevní štěpka se bude sušit v sušárně desek, pro pilu jsem zvolil jako nejvhodnější kontejnerové řešení uspořádání do tvaru kváдру se zásobníkem štěpky. Technické údaje zařízení jsou zapsány v následující tabulce (Tab 6.2.

Zařízení	E blok 70
Elektrický výkon (kW_e)	70
Tepelný výkon (kW_t)	110
Účinnost zdroje (%)	85
Teplo z chlazení motoru a spalín ($^{\circ}\text{C}$)	85/65
Teplo z chlazení plynu ($^{\circ}\text{C}$)	45/25
Spotřeba paliva (kg/kW_e)	0,8 – 1,3
Vlhkost paliva (%)	20
Technologická spotřeba elektřiny (kW)	6 – 10
Spotřeba paliva (kg/hod)	77
Rozměry (m)	12x7,6x8

Tab 6.2. Technické parametry zařízení E blok 70

6.1.3 Porovnání

Pila v Petrovicích u Karvine produkuje měsíčně řádově 50 tun dřevního odpadu. Tato produkce odpovídá pokrytí potřeby paliva pro tři zařízení Power Pallet a jedno zařízení E blok 70. Jelikož zařízení Power Pallet veškeré vzniklé teplo využívá ke zplyňování

Typ	Power Pallet	E blok
Cena zařízení (Kč)	1 800 000 – 2 400 000	5 600 000- 7 000 000
Cena dopravy (Kč)	30 000 – 40 000	0
Spotřeba paliva (kg/hod)	66	56 – 91
Vyrobena elektřina (kW _e)	60	70
Vyrobene teplo (kW _t)	0	110

Tab 6.3. Technicko ekonomické zhodnocení

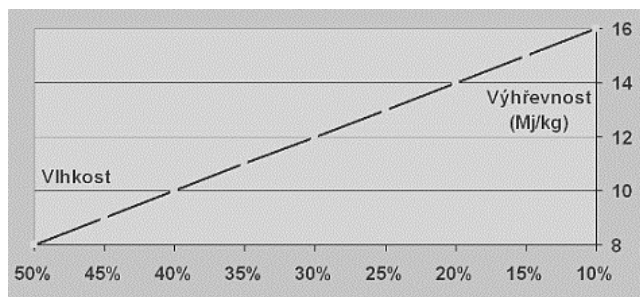
6.2. Materiálové bilance pro zařízení KVET

Jako palivo využijeme dřevní odpad z pily (Obr 6.5), které musíme upravit na požadovanou velikost (cca 20 mm²). Poté musíme dřevní štěpku zbavit přebytečné vlhkosti, to nám zajistí zbytkové teplo z výroby zplyňovacího plynu. Pila vyprodukuje průměrně 50 tun dřevního odpadu měsíčně.

Výpočty stanovím zda toto množství bude stačit pro zařízení KVET. Při spotřebě paliva 77 kg/hod a 24 hodinovém provozu, spotřebuje E blok 55 tun paliva za 30 dni.

Výhřevnost a složen paliva (dřeva)

Výhřevnost biomasy závisí na obsahu vody v něm. Obecně je výhřevnost dřeva přibližně stejná, bez ohledu na jeho tvrdost. Proto výhřevnost určím z následujícího grafu. Výrobce zařízení KVET počítá s nejvyšší možnou vlhkostí $w^r = 20\%$ při níž je výhřevnost dřeva $Q_i = 14$ MJ/kg a obsah popeloviny $A^r = 3\%$



Graf. 6.1. Závislosti výhřevnosti dřeva na obsahu vody

Složka	(%) hm
C ^h	51,20
O ^h	42,40
H ^h	6,05
N ^h	0,30
S ^h	0,05
Σ	100,00

Tab 6.4. Složení dřeva

Přepočet na surový stav

$$C^r = C^h * (1 - A^r - w^r) = 51,2 * (1 - 0,03 - 0,2) = 39,424 \%$$

$$O^r = O^h * (1 - A^r - w^r) = 42,4 * (1 - 0,03 - 0,2) = 32,648 \%$$

$$H^r = H^h * (1 - A^r - w^r) = 6,05 * (1 - 0,03 - 0,2) = 4,659 \%$$

$$N^r = N^h * (1 - A^r - w^r) = 0,30 * (1 - 0,03 - 0,2) = 0,231 \%$$

$$S^r = S^h * (1 - A^r - w^r) = 0,05 * (1 - 0,03 - 0,2) = 0,039 \%$$

Součtem všech složek v surovém stavu zjistíme správnost výpočtu.

$$\sum X^r = 100$$

$$C^r + O^r + H^r + N^r + S^r + w^r + A^r = 100$$

$$39,424 + 32,648 + 4,659 + 0,231 + 0,039 + 20 + 3 = 100,001 \rightarrow 100$$

Složení a výhřevnost plynu

Hodnoty v následující tabulce (Tab. 6.5.) určil výrobce zařízení, který počítá s maximální možnou vlhkostí paliva (dřeva) a obsahem popele. Vlhkost po ochlazení plynu zkondenzovala a do kogenerační jednotky je dodán suchý plyn.

Složka	(%)
N ₂	50.1
CO	19
H ₂	16
CO ₂	12
CH ₄	2.9
H ₂ O	0
Σ	100

Tab. 6.5. Složení suchého plynu

Výhřevnost plynu

$$Q_{i,plyn} = \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{V} * Q_i = 5,2 \text{ MJ}/m_N^3$$

Množství zplyňovacího vzduchu na 1 kilogram paliva

$$N_{2,plyn} = V_{vz} * 0,79 + N_{2,pal}$$

$$V_{plyn} * w_{N2,plyn} = V_{vz} * 0,79 + N^r * \frac{22,4}{28}$$

$$V_{vz} = \frac{V_{plyn} * w_{N2,plyn} - N^r * \frac{22,4}{28}}{0,79} = \frac{2,37 * 0,501 - 0,00231 * \frac{22,4}{28}}{0,79} = 1,5 \text{ m}_N^3/\text{kg}_{pal}$$

Množství plynu na 1 kilogram zplyněného paliva

$$w_{CO,plyn} = \frac{V_{CO,plyn}}{V_{plyn}}, \quad w_{CO2,plyn} = \frac{V_{CO2,plyn}}{V_{plyn}}$$

$$V_{CO,plyn} = \frac{22,4}{12} * C^r * X$$

$$V_{CO2,plyn} = \frac{22,4}{12} * C^r * (1 - X)$$

$$V_{plyn} = \frac{\frac{22,4}{12} * C^r}{w_{CO,plyn} + w_{CO2,plyn}} = \frac{\frac{22,4}{12} * 0,39424}{0,19 + 0,12} = 2,37 \text{ m}_N^3/\text{kg}_{pal}$$

Množství zplyňovacího vzduchu

$$V'_{vz} = M_{pp} * V_{vz} = 77 * 1,5 = 115,5 \text{ m}_N^3/\text{hod}$$

Příkon v plynném palivu

$$P_B = \frac{M_{pp} * Q_i * \eta}{3600} = \frac{77 * 14\,000 * 0,85}{3600} = 254,5 \text{ kW}$$

Potřebné množství plynu

$$V_{pl} = \frac{P_B}{Q_{i,plyn}} = \frac{916,2}{5,2} = 176,2 \text{ m}_N^3/\text{hod} \text{ (suchého plynu)}$$

Elektrická účinnost

$$\eta_e = \frac{P_e}{P_p} = \frac{P_e}{M_{pp} * Q_i} = \frac{0,070}{\frac{77}{3600} * 14} * 100 = 23,4 \%$$

Tepelná účinnost

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_p} = \frac{P_t}{M_{pp} * Q_i} = \frac{0,110}{\frac{77}{3600} * 14} * 100 = 36,7 \%$$

Celková účinnost při kogeneraci

$$\eta_{cel} = \frac{P_e + P_t}{P_p} = \frac{P_e + P_t}{M_{pp} * Q_i} = \frac{0,070 + 0,110}{\frac{77}{3600} * 14} * 100 = 60,1 \%$$

Vstup	Výhřevnost paliva (MJ/kg)	14
	Množství paliva (kg/hod)	77
	Množství zplyňovacího vzduchu (m_N^3/ hod)	115
Výstup	Tepelný výkon (kW_t)	110
	Elektrický výkon (kW_e)	70
	Množství vyrobeného plynu (m_N^3/hod)	176,2
	Výhřevnost plynu (MJ/m_N^3)	5,2
	Celková účinnost (%)	60,1

Tab 6.6 Provozní parametry zařízení E blok 70

6.3 Uplatnění technologie na pile

Pro pilu je zařízení KVET velice výhodné, protože odpadají náklady pořízení a logistiku paliva. Pila vyrobenou elektrickou energii spotřebuje na chod všech zařízení k provozu pily, popřípadě přebytek elektrické energie může distribuovat do sítě. Dále může tepelnou energii využít k sušení dřeva pro provoz zařízení KVET, ale i dřeva určeného k další distribuci. Jelikož zařízení KVET, které jsem vybral se nachází v jednom kontejneru (viz. Tab 6.2.), nemusíme stavět další budovu, vybereme vhodné místo pro ustavení. (Obr 6.5.) Pila může čerpat i zelený bonus pro rok 2015, který činí 250 Kč/MWh za chodu zařízení KVET 8400 hodin ročně.



Obr 6.5. Umístění KVET na pile v Petrovicích u Karviné

7. Závěr

Cílem této práce bylo vybrat vhodnou technologii pro pilu, která by mohla odpadní biomasu využít k výrobě elektrické energie. Energie vyrobíme v zařízení KVET, pomocí zplyňování odpadní biomasy (dřeva) k výrobě plynu, který přivedeme do kogenerační jednotky. Zde vznikne tepelná a elektrická energie pro další využití.

V první kapitole jsem se zaměřil na samotné zplyňování. Na procesy při zplyňování, mezi které patří sušení, pyrolýza, oxidace a redukce. A dále na rozdíl mezi alotermním a autotermním zplyňováním.

Další kapitola je o rozdělení zplyňovacích generátorů. Zaměřil jsem se na klady a zápory jednotlivých druhů a snažil se vybrat ten nejvhodnější pro pilu v Petrovicích u Karviné.

Následující kapitolu jsem věnoval samotnému plynu, který vznikne při zplyňování dřeva. Je zde popsána historie, použití, výhřevnost a složení plynu. Na toto téma navazuje čištění plynu. Popisují nečistoty, které se v plynu nachází a jak je můžeme eliminovat.

Poslední kapitola je praktická část, kde jsem vybral nejvhodnější zařízení. Vybral jsem zařízení E blok 70 s výrobou 70 kW_e a 110 kW_t . Vypočetl pro toto zařízení základní materiálové bilance a zhodnotil přínos pro pilu.

Citace

- [1] [1] NAJSER, Jan. *Zplyňování dřeva pro kogeneraci*. Ostrava, 2008. VŠB – TU Ostrava.
- [2] KALTSCHMITT M., RÖSCH Ch., DINKELBACH L. *Biomass Gasification in Europe*. 1998, ISBN 92-828-4157-X.
- [3] Mikkonen, Vesa (2010). *Wood Gas for Mobile Applications*. Published by the author, available at www.ekomobiili.fi. p. 31.
- [4] NEEFT J.P.A., KNOEF H.A.M., ZIELKE U., SJÖSTRÖM K., HASLER P., SIMELL P.A., DORRINGTON M.A., THOMAS L., ABATZOGLOU N., DEUTCH S., GREIL C., BUFFINGA G.J., BRAGE C., SUOMALAINEN M.: Guideline for Sampling and Analysis of Tar and Particles in Biomass Producer Gases, Version 3.3, Energy project ERK6-CT 1999-2002 (<http://www.tarweb.net>)
- [5] MILNE T.A., EVANS R.J., ABATZOGLOU N. Biomass Gasifier “Tars”: Their Nature, Formation and Conversion, NREL/TP-570-25357, Colorado, USA, 1998
- [6] ECN: Classification System. [online]. [cit. 2014-10-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.thersites.nl/classification.aspx>>
- [7] BRAGE C., SJÖSTRÖM K., An outline of R&D work supporting the Tar Guideline, KTH, Stockholm, Sweden, 2002.[online][cit. 2014-05-08]Dostupné z WWW: <<http://www.tarweb.net/pdf/final-rd-report.pdf>>
- [8] STEVENS D. J. Hot Gas Conditioning: Recent Progress With Larger-Scale Biomass Gasification Systems, Update and Summary of Recent Progress. NationalRenewable Laboratory, NREL/SR-510-29952, Colorado, USA, 2001
- [9] ALL Power Labs, Return of the GEK [online].[cit. 2015-03-07]. Dostupné z WWW :<<http://www.gekgasifier.com/>>
- [10] ING. PAVEL OMELKA, Energie s vůní dřeva, [online][cit. 2015-05-02]. Dostupné z WWW: < <http://e-blok.cz/>>